

走向无所不能的网络构架

Jon Crowcroft 著 叶兰 编译

计算机科学家沉迷于一项宏伟的统一理论，这可能是他们在审视物理学时，其天生的自卑情结在作怪（或可能因为我们中的某些人就是物理学家出身）。不管是什么原因，我们可以发现网络试图利用一个包含一切且受大众欢迎的设计、系统或构架去融合所有的通讯系统。电信网络（其成功的时间曾一度比因特网长）的构架体系是电路交换（circuit switching）。与此同时，在上个世纪中还有广播网络（首先是广播，接着是电视）。多元、孤立的电路仍是主宰。如，尽管因特网上 IP 语音服务的发展，当今世界多于 25 亿的手机仍采用这种模式。这种设计有两个弊端：一是呼叫都是收费的；二是资源的使用是可计量的。

未来因特网的发展会怎样呢？关于此话题的研究项目有很多，如美国的“未来因特网设计项目”，欧盟的“未来因特网研究及试验项目”，中国、日本、韩国也有类似的研究项目等等。不过，在这里，建议借此机会以多种创新的方式更深刻的考虑通信系统的基本原理，尽量避免被以往的研究成果所束缚。

因特网是建立在分组交换模式（packet-switching Paradigm）的基础之上。该模式由 Paul Baran 和 Donald Davies 在 20 世纪 70 年代早期共同设计，它以统计复用（statistical multiplexing）的理念替代了电路（electrical circuits）模式的主宰。而正是因为有了统计复用，与过去网络中使用的固定分割方式（fixed Partitioning）相比，资源共享变得更加灵活。而且，因为有了缓存器（buffers），爆满的数据流可以利用网络中的闲置线路，从而提供网络传播效率。在 20 世纪 70 年代后期至 80 年代初，虚拟电路（virtual circuit）的支持者及自带寻址模式（datagram model）的支持者展开了一场讨论如何建立基于分组交换的通讯系统的辩论会。而实际上，因特网中“流”（flow）的概念与虚拟电路是不相同的；确实，如果考虑中间设备（middle boxes）（如网络地址转换、防火墙、代理服务器及多协议标签转换路由器），现在我们回过头来看这场辩论，觉得徒然无意。

然而，随着社会工作及娱乐方式的转变，未来网络的需求将不同于在上个世纪占统治地位的简单电路或分组交换系统。大部分网络内容将是以拉或兴趣为基础（pull/interest-based）；经济学^[1]强调将“长尾”内容以低交易（网络成本）提供给最感兴趣的大量小众团体。

随着人们对远程活动中视频、音频及静态内容的同步性需求的降低，人们也希望网络（包括因特网）最好能够实现非并发使用。另一方面，人们想要低延迟（low latency），想就近或本地获取所有的内容。因此，我们可能要谈到“异步组播”（asynchronization of multicast）、对等通讯（peer-to-peer communication）的商业化及资源共享。内容创建者在将内容推送给终端用户时也想尽可能地减少中介机构。

技术在因特网的通讯中也起了推动作用。自层级系统的设计以来，软件也有了很大改变；今天，我们仍使用那些值得信赖的软件，其组件由可执行的封装包组成。这与未来因特网的构架有什么关联呢？一方面，因特网的构架应该多样化，在主机及路由器这些节点中应减少一些共性，而过去 20 年，我们所拥有的计算机、服务器及路由器都是来自于同一技术框架。

这也与我的波粒二象性模式（wave-particle model）相符，它主要是说技术如何随着网络及协议的变化。最近有些论文^[2]提议用图（graph）甚至一堆软协议组件去代替层级式协议组件。然而，我们也可以看看网络本身的布局及其节点所起作用的变化情况。重温旧式的因特网理念——任何具有不止一个网络接口的组件都是一个路由器，我们发现，可能所有节点与中间设备（middle boxes）的作用是一样的。这在我们的终端设备中可看到，如我的 Macintosh iBook 和 Windows smart phone，这 2 个设备每个都至少有 3 个内置的无线广播及一个有线网络接口。当我们互相连接这些设备时，网络通讯的布局比过去任何的公共网络都活跃

得多。

越来越多的连接设备的异质“链接”也不一定就是“管道（pipes）”；事实上，一个包含很多移动设备的空间，其容纳量并不是简简单单就能知道的；一些物理限制可以知道，但是相应的香农极限（Shannon Limit）就不一定知道了。信息缺乏者认为网络构建应该使用一个临时的图像模型（temporal graph model），还认为如果以临时的图像模型来衡量的话，今天的网络构架不能跟上资源的发展模式。这种简单的拿图像去代表容量或延迟的考虑并没有抓住正确的信息。

技术的另一重要的方面—网络编码，这进一步促使科学家们努力去构建一个能够维持波粒二象性模式的统一的网络。实际上，有线及无线网络中的网络编码都承诺要减少资源管理的复杂性。网络编码包括融入沿普通子渠道传播的分组包，网络编码可能同时伴有信任的冗余度。

那波粒二象性理念如何应用到网络中去呢？因特网已由蜂拥的网络编码内容所覆盖，信息不再是从一个地方流动到另一个地方，而是像池塘里从不同角度散开的水波，然后到达目的地。Neal Stephenson在他的小说《The Diamond Age》^[3]中有过这种预言。新内容的发布就是新波浪的开始。内容是通过将订阅及兴趣与内容描述的自动匹配来传播的。内容在其通过网络节点传播的过程中被编码。图表中任何既定点的“分包”（packets）表明它们含有多重编码的数据。因此，在网络构架中，我们不太适合使用“分包”、流动层描述、一般容量的任务、终端到终端（end-to-end）及逐步跳跃（hop-by-hop）的协议，因为数据来源于各种渠道，在某种程度上处于变化的干扰形态。

我们是否也因新模式的使用而无意识的将原有系统抛弃了呢？语音呼人电话（person-to-person voice calls）及与它相提媲美的21世纪的新事物—实时游戏怎么样呢？如果我们能将蜂拥或波浪的理念（swarms or waves）推行到网络构架中去，那能否将波电路（circuit-on-a-wave）及波IP（IP-on-a-wave）推行到网络构架中去呢？

网络构架师可以采用与他们实施VoIP（VoIP指的是在使用了互联网协议的网络上进行语音传输）相同的方式去构建网络。一种方式是运行多个数据源网络，使用单独的通讯系统支撑一对一的流量。那流量在波浪理念的网络构架中如何得以支撑呢？可能通过一些最简单的系统，如出版-订阅系统。

在研究界中也流传着其它一些对这个设计理念的理解。一个是数据驱动模式，在这种模式中，信息由关键词标引，通过订阅检索。协议是公开的，所有的节点都携带内容、索引及缓冲器。在缓存时，所有的节点以特别移动（mobile ad hoc）、延迟容忍及对等通讯（peer-to-peer）的形式指向信息内容；这些通讯方法在数据驱动模式中是统一的。

对构架统一的网络感兴趣的网络构建师不会关注微观细小的资源。因为，对一个网络构建师来说，效率通常以国际标准来衡量。传统行为方式可能毫无效率，但是大多数内容（如视频、音频及传感器数据）都需以最大化的效率处理。内容也可以通过多路径、编码化传递进行处理，这起到了良好的隔离及保护作用，因为这种处理方式是采用规模统计方式，而非本地资源存储的方式。

因此，我在这里介绍的以波粒二象性模式进行网络构架所追寻的目标不同于传统的网络构架目标。在这个模式中，波的理念采用大规模效率而非本地效率处理网络内容，因而具有很大的弹性，而且，考虑到网络中内容的发布与消费之间的集结点是动态的，该模式支持团队通讯（group Communication）及移动通讯，而不采用传统的终端到终端（end-to-end）的方法，由终端的协调来解决。

研究者在接下来的20年内忙于探索波理论模式的具体细节。我在此提及的目的是希望大家跳出终端到终端的通讯框架去思考这个模式，以解决相关的问题。如果说这些问题确实是应该考虑的问题，我希望能在此把这些问题更好的提出来，成为研究的开端。

你可能会问很多关于未来波粒二象性模式的网络构架问题，如：中间节点及终端用户节点起什么作用？内容发布与消费的最佳集结点的位置在哪？每一个集结点与内容的流程度及与内容发布者、订阅者或中间点的距离有关吗？应该采用什么样的编码？我们如何设计光学硬件去实现软件的重新编码？在波粒二象性模式的网络中，广播网络的界入起什么作用？在网络通讯中如何保护个人隐私？

当今网络构架中终端、中介节点在同一路径中常常狭路相逢，不管是有意还是无意的。因此，与当今的网络构架相比，波粒二象性原理在网络中的未来，是能经得起失败、外界的评论及攻击的。网络构建师如何量化这样一个体系的行为？他们需要一套新的模型工具去描述网络吗？最后，如果网络控制确实是一个分布式体系，对等网络（peer-to-peer）的理念可以用来控制网络吗？

我认为大家不要太在意我的波粒二象性理论，特别是我自己都怀疑那些大一统的网络模式。但是，我确实想鼓励大家使用这个波粒二象性理念去打破传统的观念与思维。最后，可能的话，我希望我们能一起发现传统网络理念的优点，但仍能够从这种新的角度去审视网络的发展模式。

参考文献：

1. Anderson, C. The Long Tail: How Endless Choice Is Creating Unlimited Demand. Random House, New York, 2006.
2. Braden, R, Faber, T, and Handley, M. From protocol stack to protocol heap: Role-based architecture. ACM SIGCOMM Computer Communication Review 33, 1 (Jan. 2003), 17–22.
3. Stephenson, N. The Diamond Age: Or, a Young Lady's Illustrated Primer. Bantam Spectra Books, New York, 1995.

编译自：Jon Crowcroft. Toward a network architecture that does everything. Communications Volume 51, Issue 1 (January 2008), 74-77. [2008-3-2]